

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-199419

(43)Date of publication of application : 31.07.1997

(51)Int.Cl.

H01L 21/20

C30B 29/38

H01L 33/00

H01S 3/18

(21)Applicant number : 08-007340

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 19.01.1996

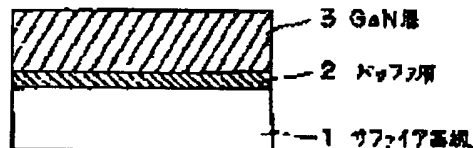
(72)Inventor : NIDOU MASAOKI
KIMURA AKITAKA
SUNAKAWA HARUO
YAMAGUCHI ATSUSHI

(54) CRYSTAL GROWTH METHOD OF GALLIUM NITRIDE COMPOUND SEMICONDUCTOR AND MANUFACTURE OF SEMICONDUCTOR LASER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve the flatness and the orientational property of crystallization, and to decrease the defect of lamination by a method wherein the surface of a crystal substrate is formed in such a manner that the tilt angle of the plane direction, which is equivalent to specific plane direction, is set within a prescribed value.

SOLUTION: A GaN buffer layer 2 is crystal-grown on a sapphire substrate 1 having (1, -1, 0, 1) faces as the surface, and a GaN layer 3 is crystal-grown thereon. The crystal growth speed in the direction vertical to the (1, -1, 0, 1) faces is slow, and the atomic migration on the above-mentioned plane is intensified. As a result, a hexagonal gallium nitride compound semiconductor, which is smooth on the surface in the direction in parallel with the substrate surface and having uniform C-axis orientational direction, is formed. The same effect can be obtained even when the orientation of substrate is inclined by 5 degrees or less from the (1, -1, 0, 1) face orientation



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 19.01.1996

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 2830814
[Date of registration] 25.09.1998
[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]
[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]
[Date of extinction of right]

Copyright (C): 1998,2000 Japan Patent Office

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-256151

(43)Date of publication of application : 25.09.1998

(51)Int.Cl

H01L 21/20
H01L 21/205

(21)Applicant on number : 09-054585

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>

(22)Date of filing : 10.03.1997

(72)Inventor : AKASAKA TETSUYA
KOBAYASHI YASUYUKI
ANDO SEIGO
KOBAYASHI NAOKI**(54) MANUFACTURE OF VERY SMALL SEMICONDUCTOR STRUCTURE**

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method by which a very small hexagonal prism structure of a nitride semiconductor having a facet surface which is perpendicular to the surface of a substrate and flat at an atomic level.

SOLUTION: After a first amorphous nitride semiconductor thin film is formed on the main surface of a sapphire substrate, with the main surface being composed of the (0001)-face of sapphire, this thin film is grown to a single crystal by solid-phase epitaxial growth and a second nitride semiconductor thin film is formed on the first semiconductor thin film by vapor-phase epitaxial growth. Then a mask which is composed of a silicon dioxide thin film and has a plurality of windows formed for exposing the surface of the second nitride semiconductor thin film at intervals, with the shortest interval being 100nm, and a numerical aperture of not less than 50% is formed on the second nitride semiconductor thin film and very small nitride semiconductor structures are formed on the parts of the second semiconductor thin film exposed through the windows by vapor-phase selective epitaxial growth.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 24.01.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C): 1998,2000 Japan Patent Office

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-199419

(43)Date of publication of application : 31.07.1997

(51)Int.Cl.

H01L 21/20

C30B 29/38

H01L 33/00

H01S 3/18

(21)Application number : 08-007340

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 19.01.1996

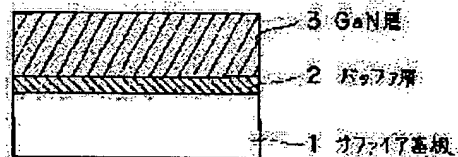
(72)Inventor : NIDOU MASAOKI
KIMURA AKITAKA
SUNAKAWA HARUO
YAMAGUCHI ATSUSHI

(54) CRYSTAL GROWTH METHOD OF GALLIUM NITRIDE COMPOUND SEMICONDUCTOR AND MANUFACTURE OF SEMICONDUCTOR LASER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve the flatness and the orientational property of crystallization, and to decrease the defect of lamination by a method wherein the surface of a crystal substrate is formed in such a manner that the tilt angle of the plane direction, which is equivalent to specific plane direction, is set within a prescribed value.

SOLUTION: A GaN buffer layer 2 is crystal-grown on a sapphire substrate 1 having (1, -1, 0, 1) faces as the surface, and a GaN layer 3 is crystal-grown thereon. The crystal growth speed in the direction vertical to the (1, -1, 0, 1) faces is slow, and the atomic migration on the above-mentioned plane is intensified. As a result, a hexagonal gallium nitride compound semiconductor, which is smooth on the surface in the direction in parallel with the substrate surface and having uniform C-axial orientational direction, is formed. The same effect can be obtained even when the orientation of substrate is inclined by 5 degrees or less from the (1, -1, 0, 1) face orientation.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 19.01.1996

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]	2830814
[Date of registration]	25.09.1998
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]	
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]	
[Date of extinction of right]	

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許番号

第2830814号

(45) 発行日 平成10年(1998)12月2日

(24) 登録日 平成10年(1998)9月25日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	F I	
H 0 1 L 21/20		H 0 1 L 21/20	
C 3 0 B 29/38		C 3 0 B 29/38	D
H 0 1 L 33/00		H 0 1 L 33/00	C
H 0 1 S 3/18		H 0 1 S 3/18	

請求項の数14(全 12 頁)

(21) 出願番号	特願平8-7340	(73) 特許権者	000004237 日本電気株式会社 東京都港区芝五丁目7番1号
(22) 出願日	平成8年(1996)1月19日	(72) 発明者	仁道 正明 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
(65) 公開番号	特開平9-199419	(72) 発明者	木村 明隆 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
(43) 公開日	平成9年(1997)7月31日	(72) 発明者	砂川 晴夫 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
審査請求日	平成8年(1996)1月19日	(74) 代理人	弁理士 若林 忠
		審査官	高木 康晴

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化ガリウム系化合物半導体の結晶成長方法、及び半導体レーザの製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】 六方晶結晶基板上に六方晶窒化ガリウム系化合物半導体を形成する結晶成長方法であって、前記結晶基板の表面が、該結晶基板の(1, -1, 0, 1)面方位と等価な面方位からの傾斜角が5度以内の面方位を有することを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体の結晶成長方法。

【請求項2】 マスクを形成することによって、六方晶結晶基板上に六方晶窒化ガリウム系化合物半導体を位置選択的に形成する結晶成長方法であって、前記結晶基板の表面が、該結晶基板の(1, -1, 0, 1)面方位と等価な面方位からの傾斜角が5度以内の面方位を有することを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体の結晶成長方法。

【請求項3】 マスクを、六方晶結晶基板の<1, 1,

-2, 0>方向にストライプ状に形成する請求項2記載の窒化ガリウム系化合物半導体の結晶成長方法。

【請求項4】 六方晶結晶基板上にバッファ層を設けて六方晶窒化ガリウム系化合物半導体を形成する請求項1、2又は3記載の窒化ガリウム系化合物半導体の結晶成長方法。

【請求項5】 立方晶結晶基板上に六方晶窒化ガリウム系化合物半導体を形成する結晶成長方法であって、前記結晶基板の表面が、該結晶基板の(-5, 7, -5)、(5, 7, -5)、(1, 11, 11)、(-5, -5, 7)、(5, -5, 7)、(-11, 1, -11)、(11, 1, -11)、(7, 5, 5)、(-11, -11, 1)又は(11, -11, 1)面方位と等価な面方位からの傾斜角が5度以内の面方位を有することを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体の結晶成長

方法。

【請求項6】 マスクを形成することによって、立方晶結晶基板上に六方晶窒化ガリウム系化合物半導体を位置選択的に形成する結晶成長方法であって、前記結晶基板の表面が、該結晶基板の $(-5, 7, -5)$ 、 $(5, 7, -5)$ 、 $(1, 11, 11)$ 、 $(-5, -5, 7)$ 、 $(5, -5, 7)$ 、 $(-11, 1, -11)$ 、 $(11, 1, -11)$ 、 $(7, 5, 5)$ 、 $(-11, -11, 1)$ 又は $(11, -11, 1)$ 面方位と等価な面方位からの傾斜角が5度以内の面方位を有することを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体の結晶成長方法。

【請求項7】 マスクを、立方晶結晶基板の $\langle 1, 1, 0 \rangle$ 又は $\langle 1, -1, 0 \rangle$ 方向にストライプ状に形成する請求項6記載の窒化ガリウム系化合物半導体の結晶成長方法。

【請求項8】 立方晶結晶基板上にバッファ層を設けて六方晶窒化ガリウム系化合物半導体を形成する請求項5、6又は7記載の窒化ガリウム系化合物半導体の結晶成長方法。

【請求項9】 六方晶結晶基板上に窒化ガリウム系化合物半導体の多層膜を形成する結晶成長工程を含む半導体レーザの製造方法であって、前記結晶成長工程が、活性層を含むダブルヘテロ構造の結晶を形成する第1の結晶成長工程と、マスクを形成することによって前記ダブルヘテロ構造の結晶表面に六方晶窒化ガリウム系化合物半導体を位置選択的に形成する第2の結晶成長工程とを含み、且つ前記結晶基板表面が、該結晶基板の $(1, -1, 0, 1)$ 面方位と等価な面方位からの傾斜角が5度以内の面方位を有することを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項10】 マスクを、六方晶結晶基板の $\langle 1, 1, -2, 0 \rangle$ 方向にストライプ状に形成する請求項9記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項11】 六方晶結晶基板上にバッファ層を設けて窒化ガリウム系化合物半導体の多層膜を形成する結晶成長工程を含む請求項9又は10記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項12】 立方晶結晶基板上に窒化ガリウム系化合物半導体の多層膜を形成する結晶成長工程を含む半導体レーザの製造方法であって、前記結晶成長工程が、活性層を含むダブルヘテロ構造の結晶を形成する第1の結晶成長工程と、マスクを形成することによって前記ダブルヘテロ構造の結晶表面に六方晶窒化ガリウム系化合物半導体を位置選択的に形成する第2の結晶成長工程とを含み、且つ前記結晶基板表面が、該結晶基板の $(-5, 7, -5)$ 、 $(5, 7, -5)$ 、 $(1, 11, 11)$ 、 $(-5, -5, 7)$ 、 $(5, -5, 7)$ 、 $(-11, 1, -11)$ 、 $(11, 1, -11)$ 、 $(7, 5, 5)$ 、 $(-11, -11, 1)$ 又は $(11, -11, 1)$ 面方位と等価な面方位からの傾斜角が5度以内の面

方位を有することを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項13】 マスクを、立方晶結晶基板の $\langle 1, 1, 0 \rangle$ 又は $\langle 1, -1, 0 \rangle$ 方向にストライプ状に形成する請求項12記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項14】 立方晶結晶基板上にバッファ層を設けて窒化ガリウム系化合物半導体の多層膜を形成する結晶成長工程を含む請求項12又は13記載の半導体レーザの製造方法。

10 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、窒化ガリウム系化合物半導体の結晶成長方法、及び半導体レーザの製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】窒化ガリウム系化合物半導体は、立方晶に比べて六方晶が安定であり、従来は主としてサファイア基板上の結晶成長が試みられてきた。サファイアc面 $(0, 0, 0, 1)$ 面上の窒化ガリウム系化合物半導体を用いることによって発光ダイオードも実現されている。図11は、従来技術による発光ダイオードの構造を示す(例えば、S. Nakamura, Applid Physics Letters, 64, No. 13, 1687~1689(1994))。この発光ダイオードの結晶部は、サファイア基板(55)のc面上のGa Nバッファ層(56)と、Siドープn型Ga N層(57)、Siドープn型Al Ga N層(58)、In Ga N活性層(59)、Mgドープp型Al Ga N層(60)、Mgドープp型Ga N層(61)から成る。このp型Ga N層(61)上にはp電極(62)が形成される。また、p型Ga N層(61)からn型Ga N層(57)にわたってドライエッチングが施され、n型Ga N層(57)上にn電極(63)が形成されている。このような発光ダイオードからの出力光(64)はp型Ga N層(61)を通して上方に取り出される。

【0003】また、サファイアc面上の結晶成長では、成長層の平滑性に問題があることから、サファイアA面 $(1, 1, -2, 0)$ 面を用いた結晶成長(特開昭63-188938号公報)、サファイアA面を0.5~2度オフした基板を用いた結晶成長(特開平7-131068号公報)、サファイアM面 $(0, 1, -1, 0)$ 面を用いた結晶成長(特開平2-211620号公報)、サファイアR面 $(1, -1, 0, 2)$ 面を用いた結晶成長(特開平6-29574号公報)が試みられ、いずれもサファイアc面に比べて成長層の平滑性が向上するとしている。その理由は、これらの基板面がサファイアc面よりも高次の面であるため、基板面内の結晶成長速度が大きくなり、その結果、基板面内での原子のマイグレーションが増強されるためであると解釈されている。

50 【0004】一方、Ga As等の立方晶の結晶基板上に

は、基板面が(1, 1, 1)面のときは六方晶の窒化ガリウムが、基板面が(0, 0, 1)面のときは立方晶の窒化ガリウムが成長しやすいことが知られている。例えば、(0, 0, 1)面GaAs基板上的立方晶窒化ガリウムの成長が報告されている(J. N. Kuznia他, Applied Physics Letters, 65, No19, 2407~2409(1994)等)。立方晶結晶は容易にへき開できることから、半導体レーザのミラー面の形成などのデバイス加工にとって有利であるというメリットがある。

【0005】基板上に成長した窒化ガリウム系化合物半導体を用いて発光ダイオードを作製するためには、必要なデバイス領域を残してその他の部分をエッチング除去する必要がある。その際、窒化ガリウム系化合物半導体では有効なウエットエッチャントが無いため、主にドライエッチングが用いられている。例えば、前述の発光ダイオードではn電極(63)を形成するためにドライエッチングを行っている。

【0006】このようなエッチングを行わないでデバイス領域を形成するには、基板面の一部の領域に選択的に結晶成長させる方法がとられる。この方法については、サファイアc面上にSiO₂マスクを形成した窒化ガリウム選択結晶成長の実験が報告されている(Y. Kato他, Journal of Crystal Growth, 144, 133~140(1994)等)。図12に、このような従来の選択結晶成長を行った場合に形成される窒化ガリウム層の形状を示す。図12

(a)は結晶成長初期における窒化ガリウムの形状を表し、図12(b)は充分な成長時間の後の窒化ガリウムの形状を表す。サファイア基板(65)のc面上にSiO₂等からなるマスク(66)を設けて窒化ガリウムを結晶成長させると、成長初期には図12(a)のように三角形状のGaN層(67)が不均一に形成される。その際、GaN層の側面(68, 69)は(1, -1, 0, 1)面となりファセットが形成され、これは(1, -1, 0, 1)面に垂直方向の結晶成長速度が遅いことを示している。長時間成長を継続すると、図12(a)に示した三角形状のGaN層(67)が大きくなり、さらに隣り合う三角形状のGaN層と結合して、図12(b)に示すように、より大きな三角形状のGaN層(70)が形成される。その際も、GaN層(70)の側面(71, 72)は(1, -1, 0, 1)面となる。これも(1, -1, 0, 1)面に垂直方向の結晶成長速度が遅いことを示している。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前述の平滑性の向上のためにサファイア非c面上に形成された窒化ガリウム系化合物半導体は、サファイアc面上のものより結晶性に劣っている。

【0008】また、GaAs等の立方晶結晶基板上的窒化ガリウムは、立方晶よりも六方晶のものが比較的よいが、これらの結晶成長層は、いまだにその結晶性や平滑

性がサファイアc面上に形成された窒化ガリウム結晶層に及ばないのが現状である。これは、立方晶結晶基板上的窒化ガリウム成長では、六方晶と立方晶が混在しやすく、しかもその結晶方位が様々な方向を向くためである。

【0009】さらに、前述のサファイアc面上の選択結晶成長においては、サファイアc面内での結晶成長が不均一であり、成長時間を増していくと(1, -1, 0, 1)面で囲まれた先端のとがった形状になる(図12参照)。この形状では電極形成に必要な平滑面が得られず、また結晶内には多くの積層欠陥が残留する。従って、このような方法で得られる結晶は発光デバイスや電子デバイス等に適していない。

【0010】そこで本発明の目的は、結晶表面の平滑性や結晶配向性に優れ、積層欠陥が少なく、さらに加工性に富む窒化ガリウム系化合物半導体の結晶成長方法、及び半導体レーザの製造方法を提供することである。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、上記の目的を達成するために種々の検討を重ねた結果、本発明を完成した。

【0012】第1の発明は、六方晶結晶基板上に六方晶窒化ガリウム系化合物半導体を形成する結晶成長方法であって、前記結晶基板の表面が、該結晶基板の(1, -1, 0, 1)面方位と等価な面方位からの傾斜角が5度以内の面方位を有することを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体の結晶成長方法に関する。

【0013】第2の発明は、マスクを形成することによって、六方晶結晶基板上に六方晶窒化ガリウム系化合物半導体を位置選択的に形成する結晶成長方法であって、前記結晶基板の表面が、該結晶基板の(1, -1, 0, 1)面方位と等価な面方位からの傾斜角が5度以内の面方位を有することを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体の結晶成長方法に関する。

【0014】第3の発明は、マスクを、六方晶結晶基板の<1, 1, -2, 0>方向にストライプ状に形成する第2の発明の窒化ガリウム系化合物半導体の結晶成長方法に関する。

【0015】第4の発明は、六方晶結晶基板上にバッファ層を設けて六方晶窒化ガリウム系化合物半導体を形成する第1、第2又は第3の発明の窒化ガリウム系化合物半導体の結晶成長方法に関する。

【0016】第5の発明は、立方晶結晶基板上に六方晶窒化ガリウム系化合物半導体を形成する結晶成長方法であって、前記結晶基板の表面が、該結晶基板の(-5, 7, -5)、(5, 7, -5)、(1, 11, 11)、(-5, -5, 7)、(5, -5, 7)、(-11, 1, -11)、(11, 1, -11)、(7, 5, 5)、(-11, -11, 1)又は(11, -11, 1)面方位と等価な面方位からの傾斜角が5度以内の面

方位を有することを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体の結晶成長方法に関する。

【0017】第6の発明は、マスクを形成することによって、立方晶結晶基板上に六方晶窒化ガリウム系化合物半導体を位置選択的に形成する結晶成長方法であって、前記結晶基板の表面が、該結晶基板の $(-5, 7, -5)$ 、 $(5, 7, -5)$ 、 $(1, 11, 11)$ 、 $(-5, -5, 7)$ 、 $(5, -5, 7)$ 、 $(-11, 1, -11)$ 、 $(11, 1, -11)$ 、 $(7, 5, 5)$ 、 $(-11, -11, 1)$ 又は $(11, -11, 1)$ 面方位と等価な面方位からの傾斜角が5度以内の面方位を有することを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体の結晶成長方法に関する。

【0018】第7の発明は、マスクを、立方晶結晶基板の $\langle 1, 1, 0 \rangle$ 又は $\langle 1, -1, 0 \rangle$ 方向にストライプ状に形成する第6の発明の窒化ガリウム系化合物半導体の結晶成長方法に関する。

【0019】第8の発明は、立方晶結晶基板上にバッファ層を設けて六方晶窒化ガリウム系化合物半導体を形成する第5、第6又は第7の発明の窒化ガリウム系化合物半導体の結晶成長方法に関する。

【0020】第9の発明は、六方晶結晶基板上に窒化ガリウム系化合物半導体の多層膜を形成する結晶成長工程を含む半導体レーザの製造方法であって、前記結晶成長工程が、活性層を含むダブルヘテロ構造の結晶を形成する第1の結晶成長工程と、マスクを形成することによって前記ダブルヘテロ構造の結晶表面に六方晶窒化ガリウム系化合物半導体を位置選択的に形成する第2の結晶成長工程とを含み、且つ前記結晶基板表面が、該結晶基板の(1, -1, 0, 1)面方位と等価な面方位からの傾斜角が5度以内の面方位を有することを特徴とする半導体レーザの製造方法に関する。

【0021】第10の発明は、マスクを、六方晶結晶基板の<1, 1, -2, 0>方向にストライプ状に形成する第9の発明の半導体レーザの製造方法に関する。

【００２２】第１１の発明は、六方晶結晶基板上にバッファ層を設けて窒化ガリウム系化合物半導体の多層膜を形成する結晶成長工程を含む第９又は第１０の発明の半導体レーザの製造方法に関する。

【0023】第12の発明は、立方晶結晶基板上に窒化ガリウム系化合物半導体の多層膜を形成する結晶成長工程を含む半導体レーザの製造方法であって、前記結晶成長工程が、活性層を含むダブルヘテロ構造の結晶を形成する第1の結晶成長工程と、マスクを形成することによって前記ダブルヘテロ構造の結晶表面に六方晶窒化ガリウム系化合物半導体を位置選択的に形成する第2の結晶成長工程とを含み、且つ前記結晶基板表面が、該結晶基板の(−5, 7, −5)、(5, 7, −5)、(1, 1, 1, 1)、(−5, −5, 7)、(5, −5, 7)、(−1, 1, 1, −1)、(1, 1, −1, 1)、

(7, 5, 5)、(-11, -11, 1)又は(11, -11, 1)面方位と等価な面方位からの傾斜角が5度以内の面方位を有することを特徴とする半導体レーザーの製造方法に関する。

【0024】第13の発明は、マスクを、立方晶結晶基板の $\langle 1, 1, 0 \rangle$ 又は $\langle 1, -1, 0 \rangle$ 方向にストライプ状に形成する第12の発明の半導体レーザの製造方法に関する。

【0025】第14の発明は、立方晶結晶基板上にバッ
10 ファ層を設けて窒化ガリウム系化合物半導体の多層膜を
形成する結晶成長工程を含む第12又は第13の発明の
半導体レーザの製造方法に関する。

【0026】

【発明の実施の形態】以下、本発明を図面を用いて詳細に説明する。

【0027】図1は、本発明の結晶成長方法（実施形態1）により形成された窒化ガリウム（GaN）系化合物半導体の説明図である。

【0028】図1の窒化ガリウム系化合物半導体は、例えば、(1, -1, 0, 1)面を表面とするサファイア基板(1)上に、500℃でGaNバッファ層(2)を結晶成長させ、この上に1000℃でGaN層(3)を結晶成長させて形成する。GaN層(3)は、サファイア基板(1)のc軸方向にc軸が向いた六方晶結晶となる。

【0029】上記の実施形態1においては、(1, -1, 0, 1)面方位のサファイア基板(1)上に結晶成長させたGa₂Nバッファ層(2)は、主にサファイア基板(1)のc軸方向にc軸配向した多結晶状の六方晶Ga₂Nになる。六方晶Ga₂Nの(1, -1, 0, 1)面に垂直方向の結晶成長速度は遅く、この面内での原子のマイグレーションが増強されるために、Ga₂Nバッファ層(2)は、サファイア基板(1)のc軸方向へのc軸配向性がサファイア基板のc面の場合よりも向上する。このGa₂Nバッファ層(2)上に結晶成長するGa₂N層(3)は、基板(1)のc軸方向にc軸配向した六方晶結晶になり、サファイア基板(1)面に平行に(1, -1, 0, 1)面が形成される。この場合も、(1, -1, 0, 1)面に垂直方向の成長速度は遅く、この面内での原子のマイグレーションが増強されるために、基板面に平行方向の面で平滑であり且つc軸配向方向のそろった六方晶Ga₂N層が形成できる。Ga₂Nバッファ層(2)自体のc軸配向性がよいために、Ga₂N層(3)の平坦性およびc軸配向性は優れ、積層欠陥の少ないものになる。平滑な結晶が得られることは量子井戸構造の形成にとって極めて重要である。本発明の方法は、サファイア基板の場合に限らず、六方晶SiC等その他の六方晶結晶基板の場合にも適用できる。

【0030】上記本発明の結晶成長方法によれば、六方
50 晶結晶基板の面方位を $(1, -1, 0, 1)$ 面に選ぶ

と、この基板上に成長する窒化ガリウム系化合物半導体は、基板のc軸方向にc軸配向した六方晶結晶になり、基板面に平行に(1, -1, 0, 1)面が形成される。

(1, -1, 0, 1)面に垂直方向の結晶成長速度は遅く、この面内での原子のマイグレーションが増強されるために、基板面に平行方向の面で平滑であり且つc軸配向方向のそろった六方晶窒化ガリウム系化合物半導体が形成される。以上の効果は、基板上にバッファ層を形成する場合にも効果があり、平滑かつc軸配向方向のそろったバッファ層が形成でき、このバッファ層上に成長する結晶は平滑性や結晶性がより良好なものとなる。また、本発明の基板の面方位は、上記の(1, -1, 0, 1)面方位から5度以内に傾いた面方位であっても同じ効果がある。

【0031】図2は、本発明の結晶成長方法(実施形態2)により形成された窒化ガリウム(GaN)系化合物半導体の説明図である。

【0032】図2の窒化ガリウム系化合物半導体は、例えば、(-11, -11, 1)面を表面とするGaAs基板(4)上に、500℃でGaNバッファ層(5)を結晶成長させ、この上に1000℃でGaN層(6)を結晶成長させて形成する。GaN層(6)は、GaAs基板(4)の<1, 1, 1>方向にc軸が向いた六方晶結晶となる。

【0033】上記実施形態2においては、(-11, -11, 1)面方位のGaAs基板(4)上に結晶成長させたGaNバッファ層(5)は、主にGaAs基板

(4)の<1, 1, 1>方向にc軸配向した多結晶状の六方晶GaNになる。基板(4)の(-11, -11, 1)面と一致した六方晶GaNの(1, -1, 0, 1)面に垂直方向の結晶成長速度は遅く、この面内での原子のマイグレーションが増強されるために、GaNバッファ層(5)は、GaAs基板(4)の<1, 1, 1>方向へのc軸配向性が優れている。このGaNバッファ層(5)上に成長したGaN層(6)は、GaAs基板(4)の<1, 1, 1>方向にc軸配向した六方晶結晶になり、基板(4)面に平行に(1, -1, 0, 1)面が形成される。この場合も、(1, -1, 0, 1)面に垂直方向の結晶成長速度は遅く、この面内での原子のマイグレーションが増強されるために、基板面に平行方向の面で平滑であり且つc軸配向方向のそろった六方晶GaN層が形成できる。GaNバッファ層(5)自体のc軸配向性がよいために、GaN層(6)の平滑性およびc軸配向性は優れたものになる。平滑な結晶が得られることは量子井戸構造の形成にとって極めて重要である。

【0034】さらに、GaAs基板(4)は(1, 1, 0)面又は(1, -1, 0)面で容易にへき開できるが、GaAs基板(4)の<1, 1, 1>方向にc軸配向した六方晶GaN層(6)の(1, 1, -2, 0)面は、GaAs基板(4)の(1, 1, 0)へき開面と一

致するため、容易にへき開面を形成できる。このことは、半導体レーザーのミラー面を形成するために非常に有利な特徴である。

【0035】本発明の方法は、GaAs基板の場合に限らず、立方晶SiC等その他の立方晶結晶基板の場合にも適用できる。

【0036】上記本発明の結晶成長方法は、立方晶結晶においてサファイア(0, -1, 0, 1)面に対応する面方位は、(-5, 7, -5)、(5, 7, -5)、(1, 11, 11)、(-5, -5, 7)、(5, -5, 7)、(-11, 1, -11)、(11, 1, -11)、(7, 5, 5)、(-11, -11, 1)又は(11, -11, 1)面方位と等価な面方位であることを利用する。すなわち、立方晶結晶基板の面方位を上記の面方位のいずれかに選ぶと、この基板上に成長する窒化ガリウム系化合物半導体は、立方晶結晶基板の<1, 1, 1>又は<1, -1, 1>方向にc軸配向した六方晶結晶になり、基板面に平行に(1, -1, 0, 1)面が形成される。(1, -1, 0, 1)面に垂直方向の結晶成長速度は遅く、この面内での原子のマイグレーションが増強されるために、基板面に平行方向の面で平滑であり且つc軸配向方向のそろった積層欠陥の少ない六方晶窒化ガリウム系化合物半導体が形成できる。以上の効果は、基板上にバッファ層を形成する場合にも効果があり、平滑かつc軸配向方向のそろったバッファ層が形成でき、このバッファ層上に成長する結晶は平滑性や結晶性がより良好なものとなる。また、本発明の基板の面方位は、上記の面方位から5度以内に傾いた面方位であっても同じ効果がある。

【0037】図3は、本発明の結晶成長方法(実施形態3)により形成された窒化ガリウム(GaN)系化合物半導体の説明図である。

【0038】図3の窒化ガリウム系化合物半導体は、例えば、(1, -1, 0, 1)面を表面とするサファイア基板(7)上にSiO₂からなるマスク(8)を形成し、500℃でGaNバッファ層(9)を結晶成長させ、この上に1000℃でGaN層(10)を結晶成長させて形成する。GaN層(10)は、サファイア基板(7)のc軸方向にc軸が向いた六方晶結晶となる。なお、マスク(8)の形状は所望の形状にすることができる。

【0039】上記の実施形態3においては、マスク(8)を形成した後に(1, -1, 0, 1)面方位のサファイア基板(7)上にGaNバッファ層(9)を結晶成長させ、このGaNバッファ層上にGaN層(10)を結晶成長させる。こうして形成されたGaN層(10)は、前記の実施形態1と同様に、サファイア基板(7)面に平行方向の面で平滑であり且つc軸配向方向のそろった六方晶GaN層が形成される。前記従来技術(図12)のサファイア基板のc面上の選択結晶成長と

異なり、選択結晶成長領域が狭い場合においても核状に結晶成長することなく、平滑で積層欠陥の少ない六方晶 GaN 層が得られる。

【００４０】本発明の結晶成長方法は、上記の実施形態３のように基板（７）上にマスク（８）を設ける場合でも、また、実施形態１にかかる方法等により既に形成した窒化ガリウム系化合物半導体層上にマスクを設ける場合でも同様に用いることができる。このような選択結晶成長方法を用いれば、エッチング工程を必要とせずに必要なデバイス構造、例えば図１１の構成の発光ダイオードを形成することができる。本発明は、サファイア基板の場合に限らず、六方晶SiC等その他の六方晶結晶基板の場合にも適用できる。

【0041】上記本発明の選択結晶成長方法によれば、六方晶結晶基板の面方位を $(1, -1, 0, 1)$ 面に選び、マスクを形成した後、この基板上に窒化ガリウム系化合物半導体を結晶成長させると、この窒化ガリウム系化合物半導体は、基板の c 軸方向に c 軸配向した六方晶結晶になり、その表面が $(1, -1, 0, 1)$ 面となる。 $(1, -1, 0, 1)$ 面に垂直方向の結晶成長速度は遅く、この面内での原子のマイグレーションが増強されるために、平滑な $(1, -1, 0, 1)$ 面が形成され、かつ c 軸配向方向のそろった積層欠陥の少ない六方晶窒化ガリウム系化合物半導体が形成される。本発明における基板の面方位は、上記の $(1, -1, 0, 1)$ 面方位から5度以内に傾いた面方位であっても同じ効果がある。

【0042】図4は、本発明の結晶成長方法（実施形態4）により形成された窒化ガリウム（GaN）系化合物半導体の説明図である。

【0043】図4の窒化ガリウム系化合物半導体は、例えば、(1, -1, 0, 1)面を表面とするサファイア基板(7)上に、 $\langle 1, 1, -2, 0 \rangle$ 方向にストライプ状のSiO₂からなるマスク(11)を形成し、500℃でGaNバッファ層(9)を結晶成長させ、この上に1000℃でGaN層(10)を結晶成長させて形成する。このGaN層(10)は、サファイア基板(7)のc軸方向にc軸が向いた六方晶結晶となり、上面(12)が(1, -1, 0, 1)面、側面(13)が(1, -1, 0, 1)面、もう一方の側面(14)が(0, 0, 0, 1)面(c面)となる。

【0044】上記の実施形態4のマスク(11)は、前記実施形態3におけるマスク(8)が、サファイア基板(7)の $\langle 1, 1, -2, 0 \rangle$ 方向にストライプ状に形成されたものである。本実施形態4では、結晶成長領域が狭い場合においても、前記の実施形態3と同様に、核状に結晶成長することなく平滑な且つ積層欠陥の少ない六方晶GaN層(10)がGaNバッファ層(9)上に得られる。さらに、ストライプ状に結晶成長したGaN層(10)の側面(13)が $\langle 1, -1, 0, 1 \rangle$ 面、

他方のGaN層の側面(14)がc面となる。(1, -1, 0, 1)面に垂直方向の結晶成長速度は遅く、この面内での原子のマイグレーションが増強されるために、平滑な(1, -1, 0, 1)面である側面(13)が形成される。側面(14)のc面は(1, -1, 0, 1)面ほど平滑性にすぐれないが、実用上十分な平滑性を有したものとなる。

【0045】本発明の結晶成長方法は、上記の実施形態4のように基板(7)上にマスク(11)を設ける場合でも、また、実施形態1にかかる方法等により既に形成した窒化ガリウム系化合物半導体層上にマスクを設ける場合でも同様に用いることができる。このような選択結晶成長を用いれば、エッチング工程を必要とせずに平滑な面で囲まれたストライプ構造を形成できる。このようなストライプ構造は半導体レーザの光導波路等に用いることができる。また、ストライプ構造頂上面は平滑であるため、この面に電極を容易に形成することができる。

【0046】上記本発明は、サファイア基板の場合に限らず、六方晶SiC等その他の六方晶結晶基板の場合にも適用できる。六方晶SiC基板の場合には、SiC基板の(1, 1, -2, 0)面でのへき開を行えば、GaN層(10)のへき開面を得ることができ、半導体レーザのミラー面を形成することができる。この場合、ストライプ方向とへき開ミラー面が垂直となるため、端面反射率が最大となり、半導体レーザにとって有利である。

【0047】図5は、本発明の結晶成長方法（実施形態5）により形成された窒化ガリウム（GaN）系化合物半導体の説明図である。

【0048】図5の窒化ガリウム系化合物半導体は、例えば、 $(-11, -11, 1)$ 面を表面とするGaAs基板(15)上にSiO₂からなるマスク(16)を形成し、500℃でGaNバッファ層(17)を結晶成長させ、この上に1000℃でGaN層(18)を結晶成長させて形成する。GaN層(18)は、GaAs基板(15)の $\langle 1, 1, 1 \rangle$ 方向にc軸が向いた六方晶結晶となる。なお、マスク(16)の形状は所望の形状にすることができる。

【0049】上記の実施形態5においては、マスク(16)を形成した後に(-11, -11, 1)面方位のGaAs基板(15)上にGaNバッファ層(17)を結晶成長させ、このGaNバッファ層上にGaN層(18)を結晶成長させる。こうして形成されたGaN層(18)は、前記の実施形態2と同様に、GaAs基板(15)面に平行方向の面で平滑であり且つc軸配向方向のそろった六方晶GaN層が形成される。前記従来技術(図12)のサファイア基板のc面上の選択結晶成長と異なり、選択結晶成長領域が狭い場合においても核状に結晶成長することなく、平滑で積層欠陥の少ない六方晶GaN層が得られる。

50 【0050】本発明の結晶成長方法は、上記の実施形態

5のように基板(15)上にマスク(16)を設ける場合でも、また、実施形態2にかかる方法等により既に形成した窒化ガリウム系化合物半導体層上にマスクを設ける場合でも同様に用いることができる。このような選択結晶成長を用いれば、エッチング工程を必要とせずに必要なデバイス構造、例えば図11の構成の発光ダイオードを導電性のGaAs基板上に形成することができる。さらに、GaAs基板(15)は、(1, 1, 0)面又は(1, -1, 0)面で容易にへき開できるが、GaAs基板(15)の<1, 1, 1>方向にc軸配向した六方晶GaN層(18)の(1, 1, -2, 0)面は、GaAs基板(15)の(1, -1, 0)へき開面と一致するため、容易にへき開面を形成できる。このことは、半導体レーザのミラー面を形成するために非常に有利な特徴である。

【0051】上記本発明の結晶成長方法においては、立方晶結晶においてサファイア(0, -1, 0, 1)面に対応する面方位は、(-5, 7, -5)、(5, 7, -5)、(1, 11, 11)、(-5, -5, 7)、(5, -5, 7)、(-11, 1, -11)、(11, 1, -11)、(7, 5, 5)、(-11, -11, 1)又は(11, -11, 1)面方位と等価な面方位であることを利用する。すなわち、立方晶結晶基板の面方位を上記の面方位のいずれかに選び、マスクを形成した後、この基板上に窒化ガリウム系化合物半導体を結晶成長させると、この窒化ガリウム系化合物半導体は、立方晶結晶基板の<1, 1, 1>又は<1, -1, 1>方向にc軸配向した六方晶結晶になり、その表面が(1, -1, 0, 1)面と等価な面となる。(1, -1, 0, 1)面に垂直方向の成長速度は遅く、この面内での原子のマイグレーションが増強されるために、平滑な(1, -1, 0, 1)面が形成され、かつc軸配向方向のそろった積層欠陥の少ない六方晶窒化ガリウム系化合物半導体が形成できる。本発明における基板の面方位は、上記の面方位から5度以内に傾いた面方位であっても同じ効果がある。

【0052】図6は、本発明の結晶成長方法(実施形態6)により形成された窒化ガリウム(GaN)系化合物半導体の説明図である。

【0053】図6の窒化ガリウム系化合物半導体は、例えば、(-11, -11, 1)面を表面とするGaAs基板(15)上に、<1, -1, 0>方向にストライプ状のSiO₂からなるマスク(19)を形成し、500℃でGaNバッファ層(17)を結晶成長させ、この上に1000℃でGaN層(18)を結晶成長させて形成する。このGaN層(18)は、GaAs基板(15)の<1, 1, 1>方向にc軸が向いた六方晶結晶となり、上面(20)が(1, -1, 0, 1)面、側面(21)が(1, -1, 0, 1)面、もう一方の側面(22)が(0, 0, 0, 1)面(c面)となる。

【0054】上記の実施形態6のマスク(19)は、前記実施形態5におけるマスク(16)が、GaAs基板(15)の<1, -1, 0>方向にストライプ状に形成されたものである。本実施形態では、結晶成長領域が狭い場合においても、前記の実施形態5と同様に、核状に結晶成長することなく平滑な且つ積層欠陥の少ない六方晶GaN層(18)がGaNバッファ層(17)上に得られる。さらに、ストライプ状に結晶成長したGaN層(18)の側面(21)が(1, -1, 0, 1)面、他方のGaN層の側面(22)がc面となる。(1, -1, 0, 1)面に垂直方向の結晶成長速度は遅く、この面内での原子のマイグレーションが増強されるために、平滑な(1, -1, 0, 1)面である側面(21)が形成される。側面(22)のc面は(1, -1, 0, 1)面ほど平滑性にすぐれないが、実用上十分な平滑性を有したものとなる。

【0055】本発明の結晶成長方法は、上記実施形態6のように基板(15)上にマスク(19)を設ける場合でも、また、実施形態2にかかる方法等により既に形成した窒化ガリウム系化合物半導体層上にマスクを設ける場合でも同様に用いることができる。このような選択結晶成長を用いれば、エッチング工程を必要とせずに平滑な面で囲まれたストライプ構造を形成できる。このようなストライプ構造は半導体レーザの光導波路等に用いることができる。また、ストライプ構造頂上面は平滑であるため、この面に電極を容易に形成することができる。

【0056】さらに、GaAs基板(15)は(1, 1, 0)面または(1, -1, 0)面で容易にへき開できるが、GaAs基板(15)の<1, 1, 1>方向にc軸配向した六方晶GaN層(18)の(1, 1, -2, 0)面は、GaAs基板(15)の(1, -1, 0)へき開面と一致するため、容易にへき開面を形成できる。従って、前記ストライプ構造を光導波路として、GaN層(15)の(1, 1, -2, 0)へき開面をミラーとする半導体レーザを形成することができる。この場合、ストライプ方向とへき開ミラー面が垂直となるため、端面反射率が最大となり、半導体レーザにとって有利である。

【0057】上記本発明は、GaAs基板の場合に限らず、立方晶SiC等その他の立方晶結晶基板の場合にも適用できる。

【0058】図7は、本発明の半導体レーザの製造方法(実施形態7)の工程図である。

【0059】まず初めに、(1, -1, 0, 1)面を表面とするn型SiCからなる基板(23)上に500℃でn型GaNバッファ層(24)を結晶成長させ、この上に1000℃でn型GaN層(25)、800℃でInGaN活性層(26)、1000℃でp型AlGaN層(27)、1000℃でp型GaN層(28)を順次結晶成長させる。これらの結晶成長層(24, 25, 2

6、27、28)は基板(23)のc軸方向にc軸が向いた六方晶となる(図7(a))。

【0060】次に、上記p型Ga₂N層(28)上に、n型SiC基板(23)の<1, 1, -2, 0>方向にストライプ状のSiO₂マスク(29)を形成し、1000℃でp型Ga₂N層(30)を結晶成長させる。このp型Ga₂N層(30)は、基板(23)のc軸方向にc軸が向いた六方晶となり、上面が(1, -1, 0, 1)面、側面が(1, -1, 0, 1)面、もう一方の側面が(0, 0, 0, 1)面(c面)となる(図7(b))。

【0061】続いて、マスク（29）を除去して、電流狭窄用SiO₂マスク（31）、p電極（32）及びn電極（33）を形成する（図7（c））。最後に、基板（23）の（1，1，-2，0）面でへき開して半導体レーザのミラー面を形成する。

【0062】上記の実施形態7の半導体レーザの製造方法においては、まず初めに、(1, -1, 0, 1)面を表面とするn型SiC基板(23)上に、バッファ層(24)を設けた後InGaN活性層(26)を含むダブルヘテロ構造の結晶層(25~28)を形成する。実施形態1と同様の効果により、平滑で積層欠陥の少ない結晶層が得られる。次に、実施形態4と同様な方法を用いて、n型SiC基板(23)上の<1, 1, -2, 0>方向にストライプ状のp型GaN層(30)を形成する。実施形態4と同様な効果により、表面が平滑で積層欠陥が少なく、かつ平滑な側面を有したストライプ状のp型GaN層(30)が得られる。こうして得られたレーザ結晶に、p型GaN層(30)上部の表面に窓の開いたSiO₂絶縁膜(31)を形成してからp電極(32)を形成すれば、電流狭窄構造および光導波構造を有した半導体レーザを形成することができる。n型SiC基板(23)の(1, 1, -2, 0)面でのへき開を行えば、結晶成長層の(1, 1, -2, 0)へき開面を得ることができ、半導体レーザのミラー面を形成することができる。この製法によれば、エッチング工程を必要としないで電流狭窄構造、光導波構造およびレーザ端面を形成することができる。

【0063】図8は、本発明の半導体レーザの製造方法（実施形態8）の工程図である。

【0064】まず初めに、(1, -1, 0, 1)面を表面とするn型SiCからなる基板(23)上に500℃でn型Ga_{0.4}Nバッファ層(24)を結晶成長させ、この上に1000℃でn型Ga_{0.4}N層(25)、800℃でInGa_{0.4}N活性層(26)、1000℃でp型AlGa_{0.4}N層(27)、1000℃でp型Ga_{0.4}N層(28)を順次結晶成長させる。これらの結晶成長層(24、25、26、27、28)は基板(23)のc軸方向にc軸が向いた六方晶となる(図8(a))。

【0065】次に、上記p型Ga_{0.49}In_{0.51}N層(28)上に、n型SiC基板(23)の<1, 1, -2, 0>方向にス

トライブ状の SiO_2 マスク(34)を形成し、800℃でZnドーブ高抵抗InGa N 層(35)を成長させる。このInGa N 層(35)は、基板(23)のc軸方向にc軸が向いた六方晶となり、上面が(1, -1, 0, 1)面、側面が(1, -1, 0, 1)面、もう一方の側面が(0, 0, 0, 1)面(c面)となる(図8(b))。Znドーブ高抵抗InGa N 層(35)のバンドギャップはInGa N 活性層(26)より小さくして活性層(26)の光を吸収させる。

10 【0066】続いて、マスク(34)を除去して、1000℃でp型Ga_{0.5}In_{0.5}N層(36)を結晶成長させた後、p電極(37)及びn電極(38)を形成する(図8(c))。最後に、基板(23)の(1, 1, -2, 0)面でへき開して半導体レーザのミラー面を形成する。

【0067】上記の実施形態8の半導体レーザの製造方法においては、実施形態7と同様にバッファ層(24)を設けた後ダブルヘテロ構造の結晶層を形成する。次いで、p型Ga_{0.5}In_{0.5}N層(28)上に、n型SiC基板(23)の<1, 1, -2, 0>方向にストライプ状の高抵抗InGa_{0.5}N層(35)を800℃で形成する。実施形態4と同様な効果により、表面が平滑で積層欠陥が少なく、かつ平滑な側面を有し、ストライプ状の窓の開いた高抵抗InGa_{0.5}N層(35)が得られる。こうして得られたレーザ結晶に、p型Ga_{0.5}In_{0.5}N層(36)を1000℃で形成してからp電極(37)を形成すれば、電流狭窄構造および損失導波による光導波構造を有した半導体レーザを得ることができる。n型SiC基板(23)の(1, 1, -2, 0)面でのへき開を行えば、成長層の(1, 1, -2, 0)へき開面を得ることができ、半導体レーザのミラー面を形成することができる。この製法によれば、エッチング工程を必要としないで電流狭窄構造、光導波構造およびレーザ端面を形成することができる。

【００６８】図９は、本発明の半導体レーザの製造方法（実施形態９）の工程図である。

【0069】まず初めに、 $(-11, -11, 1)$ 面を表面とするn型GaAs基板(39)上に500℃でn型GaNバッファ層(40)を結晶成長させ、この上に1000℃でn型GaN層(41)、800℃でInGaN活性層(42)、1000℃でp型AlGaIn層(43)、1000℃でp型GaN層(44)を順次結晶成長させる。これらの結晶成長層(40、41、42、43、44)は基板(39)の $\langle 1, 1, 1 \rangle$ 方向にc軸が向いた六方晶となる(図9(a))。

【0070】次に、p型Ga_{0.4}N層(44)上に、n型GaAs基板(39)の<1, -1, 0>方向にストライプ状のSiO₂マスク(45)を形成し、1000℃でp型Ga_{0.4}N層(46)を結晶成長させる。このp型Ga_{0.4}N層(46)は、基板(39)の<1, 1, 1>方向に

c軸が向いた六方晶となり、上面が(1, -1, 0, 1)面、側面が(1, -1, 0, 1)面、もう一方の側面が(0, 0, 0, 1)面(c面)となる(図9(b))。

【0071】続いて、マスク(45)を除去して、電流狭窄用SiO₂マスク(47)、p電極(48)及びn電極(49)を形成する(図9(c))。最後に、基板(39)の(1, -1, 0)面でへき開して半導体レーザのミラー面を形成する。

【0072】上記の実施形態9の半導体レーザの製造方法においては、まず初めに(-11, -11, 1)面を表面とするn型GaAs基板(39)上に、バッファ層(40)を設けた後InGa_N活性層(42)を含むダブルヘテロ構造の結晶層(41~44)を形成する。実施形態2と同様の効果により、平滑で積層欠陥の少ない結晶層が得られる。次に、実施形態6と同様な方法を用いて、GaAs基板(39)上の<1, -1, 0>方向にストライプ状のp型Ga_N層(46)を形成する。実施形態6と同様な効果により、表面が平滑で積層欠陥が少なく、かつ平滑な側面を有したストライプ状のp型Ga_N層(46)が得られる。こうして得られたレーザ結晶に、p型Ga_N層(46)上部の表面に窓の開いたSiO₂絶縁膜(47)を形成してからp電極(48)を形成すれば、電流狭窄構造および光導波構造を有した半導体レーザを形成することができる。n型GaAs基板(39)の(1, -1, 0)面でのへき開を行えば、結晶成長層の(1, 1, -2, 0)へき開面を得ることができ、半導体レーザのミラー面を形成することができる。この製法によれば、エッチング工程を必要としないで電流狭窄構造、光導波構造およびレーザ端面を形成することができる。

【0073】図10は、本発明の半導体レーザの製造方法(実施形態10)の工程図である。

【0074】まず初めに、(-11, -11, 1)面を表面とするn型GaAs基板(39)上に500℃でn型Ga_Nバッファ層(40)を結晶成長させ、この上に1000℃でn型Ga_N層(41)、800℃でInGa_N活性層(42)、1000℃でp型AlGa_N層(43)、1000℃でp型Ga_N層(44)を順次結晶成長させる。これらの結晶成長層(40、41、42、43、44)は基板(39)の<1, 1, 1>方向にc軸が向いた六方晶となる(図10(a))。

【0075】次に、上記p型Ga_N層(44)上に、n型GaAs基板(39)の<1, -1, 0>方向にストライプ状のSiO₂マスク(50)を形成し、800℃でZnドープ高抵抗InGa_N層(51)を結晶成長させる。このInGa_N層(51)は、基板(39)の<1, 1, 1>方向にc軸が向いた六方晶となり、上面が(1, -1, 0, 1)面、側面が(1, -1, 0, 1)面、もう一方の側面が(0, 0, 0, 1)面(c面)と

なる(図10(b))。

【0076】続いて、マスク(50)を除去して、1000℃でp型Ga_N層(52)を結晶成長させた後、p電極(53)及びn電極(54)を形成する(図10(c))。最後に、基板(39)の(1, -1, 0)面でへき開して半導体レーザのミラー面を形成する。

【0077】上記の実施形態10の半導体レーザの製造方法においては、実施形態9と同様にバッファ層(40)を設けた後ダブルヘテロ構造の結晶層を形成する。

10 次いで、p型Ga_N層(44)上に、n型GaAs基板(39)の<1, -1, 0>方向にストライプ状の高抵抗InGa_N層(51)を800℃で形成する。実施形態6と同様な効果により、表面が平滑で積層欠陥が少なく、かつ平滑な側面を有し、ストライプ状の窓の開いた高抵抗InGa_N層(51)が得られる。Znドープ高抵抗InGa_N層(51)のバンドギャップはInGa_N活性層(42)より小さくして活性層(42)の光を吸収させる。こうして得られたレーザ結晶に、p型Ga_N層(52)を形成してからp電極(53)を形成すれば、電流狭窄構造および光導波構造を有した半導体レーザを得ることができる。n型GaAs基板(39)の(1, -1, 0)面でのへき開を行えば、結晶成長層の(1, 1, -2, 0)へき開面を得ることができ、半導体レーザのミラー面を形成することができる。この製法によれば、エッチング工程を必要としないで電流狭窄構造、損失導波による光導波構造およびレーザ端面を形成することができる。

【0078】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように本発明によれば、結晶表面の平滑性や結晶配向性に優れ、積層欠陥が少なく、さらに加工性に富む窒化ガリウム系化合物半導体及び半導体レーザを得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の結晶成長方法(実施形態1)により形成された窒化ガリウム系化合物半導体の説明図である。

【図2】本発明の結晶成長方法(実施形態2)により形成された窒化ガリウム系化合物半導体の説明図である。

【図3】本発明の結晶成長方法(実施形態3)により形成された窒化ガリウム系化合物半導体の説明図である。

40 【図4】本発明の結晶成長方法(実施形態4)により形成された窒化ガリウム系化合物半導体の説明図である。

【図5】本発明の結晶成長方法(実施形態5)により形成された窒化ガリウム系化合物半導体の説明図である。

【図6】本発明の結晶成長方法(実施形態6)により形成された窒化ガリウム系化合物半導体の説明図である。

【図7】本発明の半導体レーザの製造方法(実施形態7)の工程図である。

【図8】本発明の半導体レーザの製造方法(実施形態8)の工程図である。

50 【図9】本発明の半導体レーザの製造方法(実施形態

9) の工程図である。

【図10】本発明の半導体レーザの製造方法（実施形態10）の工程図である。

【図11】従来の方法により形成された発光ダイオードの層構造の説明図である。

【図12】窒化ガリウム系化合物半導体の従来の結晶成長方法の説明図である。

【符号の説明】

1、7、55、65 サファイア基板
2、5、9、17、24、40、56 バッファ層
3、6、10、18、67、70 GaN層
4、15 GaAs基板
8、11、16、19、29、34、45、50、66 マスク
12、20 上面

13、14、21、22、68、69、71、72 側面

23 n型SiC基板

25、41、57 n型GaN層

26、42、59 InGaN活性層

27、43、60 p型AlGaN層

28、30、36、44、46、52、61 p型GaN層

31、47 絶縁膜

10 32、37、48、53、62 p電極

33、38、49、54、63 n電極

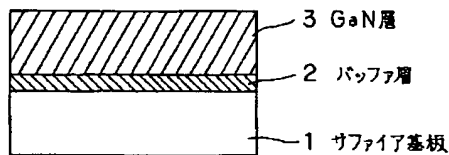
35、51 Znドープ高抵抗InGaN層

39 n型GaAs基板

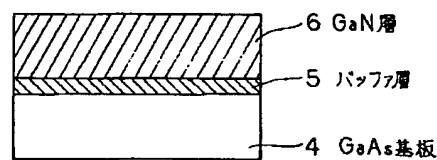
58 n型AlGaN層

64 発光ダイオード出力光

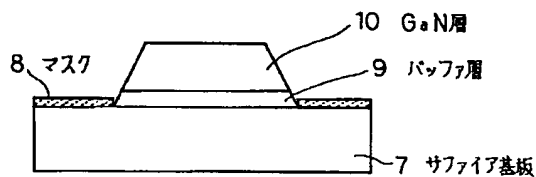
【図1】



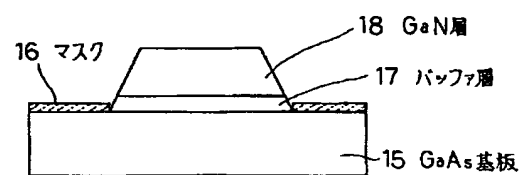
【図2】



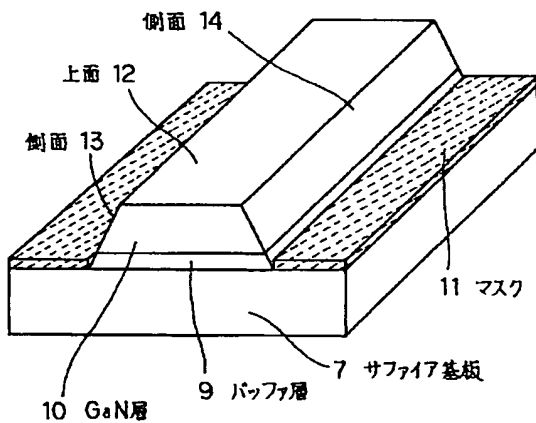
【図3】



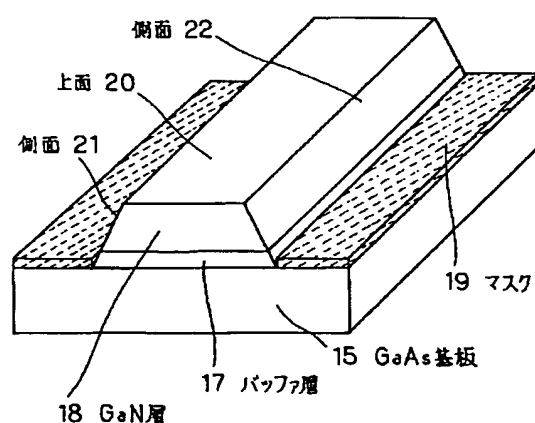
【図5】



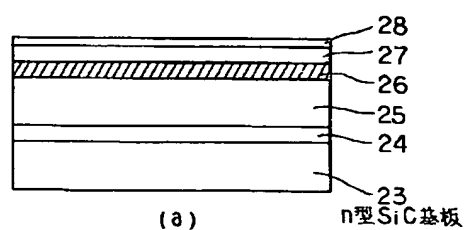
【図4】



【図6】

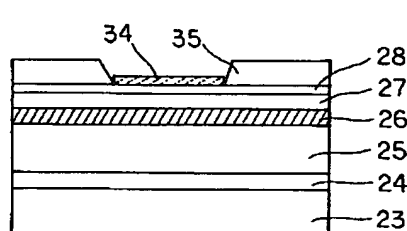
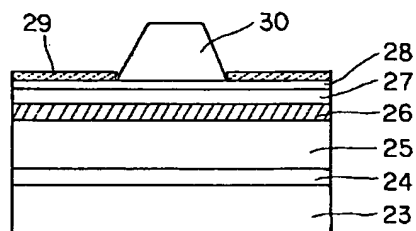


【图 8】



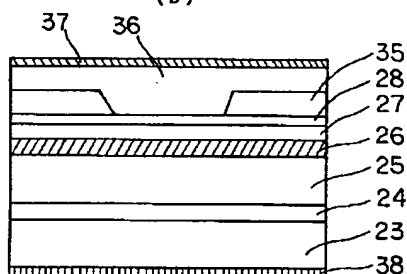
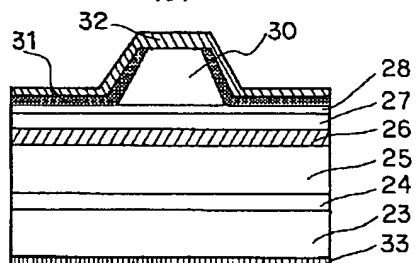
(a)

(a)



(b)

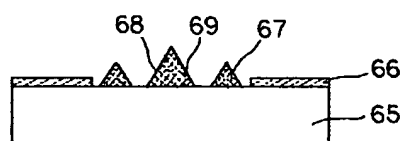
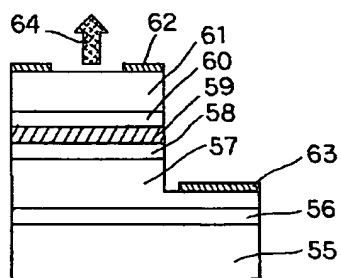
(b)



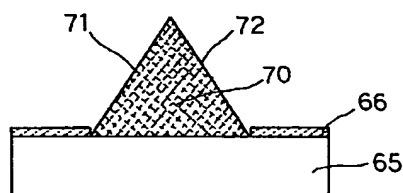
(C)

(c)

【图 1 2】

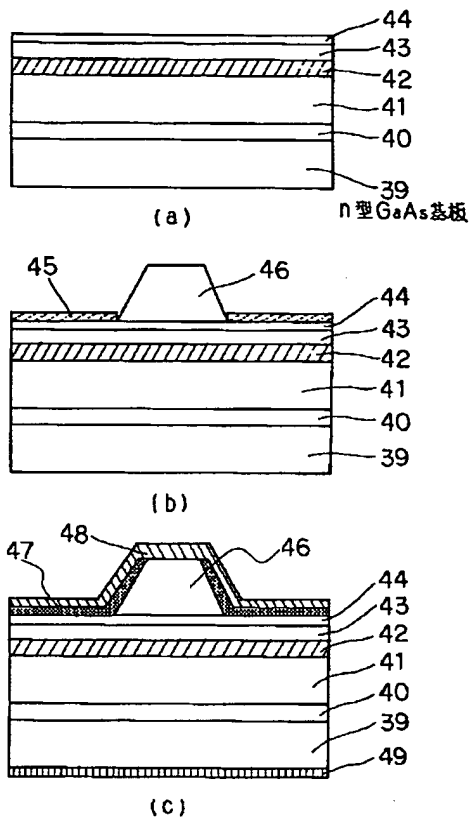


(a)

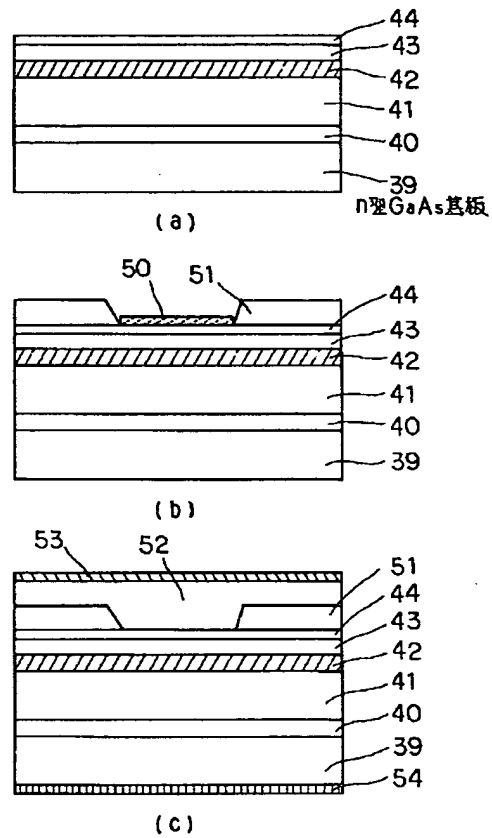


(b)

【図9】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 山口 敦史
東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気
株式会社内

(56)参考文献 特開 平8-78728 (J P, A)
特開 平7-201745 (J P, A)

(58)調査した分野(Int. Cl. ⁶, D B名)
H01L 21/20
H01L 21/205
J I C S Tファイル (J O I S)